

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Radosława RACZYŃSKIEGO
pt.: „**AERODYNAMIKA WIRNIKA NOŚNEGO ZE STEROWANYM SKRĘCENIEM
GEOMETRYCZNYM**” wykonanej na POLITECHNICE LUBELSKIEJ, Wydział
Mechaniczny, pod kierownictwem

Promotora prof. dr hab. inż. Mirosława WENDEKERA,

Promotor pomocniczy dr inż. Łukasz GRABOWSKI

Politechnika Lubelska

1. Wstęp

Recenzję tą, przesłanej do mnie rozprawy doktorskiej w formie papierowej, opracowanej, wykonałem na podstawie zlecenia Prorektora ds. Nauki – Politechniki Lubelskiej prof. dr hab. inż. Wojciecha FRANUSA w Lublinie, gdzie został otwarty przewód doktorski mgr inż. Radosława RACZYŃSKIEGO, którego promotorem jest prof. dr hab. inż. Mirosław WENDEKER. Promotor pomocniczy dr inż. Łukasz GRABOWSKI.

Zakres tematyczny przedstawionej do oceny rozprawy dotyczy problemu badawczego aerodynamiki wirnika nośnego ze sterowanym skręceniem geometrycznym, a w szczególności zastosowania siłowników SMA (Shape Memory Alloys) modyfikacji morficznej kształtu fragmentu łopaty wirnika nośnego śmigłowca. Szerzej przedstawiona została w pracy analiza eksperymentalno – numeryczna właściwości aerodynamicznych wirnika nośnego w różnych fazach lotu. Problematyka badawcza przedstawiona w rozprawie doktorskiej skoncentrowana jest na zastosowaniu siłowników z pamięcią kształtu. Doktorant skupił się na właściwej zabudowie elementów aktywnych w strukturze łopaty nośnej śmigłowca.

Wykorzystane przez Autora różne środowiska obliczeniowe - programy FEM (Finite Element Method - MES), MBD (Multi Body Dynamics), CFD (Computational Fluid Dynamics) i algorytmy mechaniki lotu pokazują dobrą znajomość technik symulacyjnych w zastosowaniu do postawionego zadania badawczego.

Autor porównał i sprawdził różne fazy lotu z zastosowaniem elementów wpływających na zmiany geometrii łopat wirnika nośnego. Podstawowe fazy lotu rozpatrywane przez doktoranta to zawis i lot poziomy bez wpływu ziemi. Eksperymenty badawcze (symulacje) wykonał i przeanalizował dla trzyłopatowego izolowanego wirnika nośnego.

Na modelu numerycznym Autor zamodelował przepływ strumienia powietrza przez wirnik co pozwoliło wyznaczyć w którym miejscu i jak będą przebiegać obciążenia na elementach wirnika nośnego. (Siły aerodynamiczne i prędkości optywu na łopacie.)

Zadania postawione w rozprawie dotyczą opracowania oraz zweryfikowania eksperymentem i symulacjami numerycznymi sposobu sterowania i kontrolowania pracy wirnika nośnego śmigłowca przez modyfikację skręcenia geometrycznego łopat.

Dzięki wdrażaniu numerycznych badań symulacyjnych połączonych z badaniami eksperymentalnymi fragmentów aktywnych łopat możliwa jest optymalizacja konstrukcji kompletnego wirnika nośnego i określenie korzyści w osiągnięciach oraz eksploatacji. Wszelstronna analiza numeryczna poszczególnych elementów technicznych, np. profilu łopaty z mechanizmem skręcania, pozwala zaoszczędzić czas w projektowaniu, a tym samym osiągnąć wymierne efekty ekonomiczne. Niektóre wytyczne dla opracowania rzeczywistego wirnika nośnego poprawiającego osiągi przedstawiono w niniejszej rozprawie.

Zaprezentowany w pracy model matematyczny opisujący proces badawczy zdaniem Autora dobrze odzwierciedla przyszłą rzeczywistą konstrukcję wirnika nośnego.

Przedstawiony w rozprawie model pozwala na pewne uogólnienie badanych właściwości eksploatacyjnych z uwzględnieniem profili łopat.

Zawarte w rozprawie zagadnienia dotyczą modelowania komputerowego właściwości, charakterystyk i wytrzymałości elementów śmigłowca i należą do dyscypliny „Inżynieria mechaniczna” - („Budowa i eksploatacja maszyn”).

Autor rozprawy doktorskiej w obszarze modelowania numerycznego i eksperymentu badawczego dostatecznie dobrze przedstawia problem główny rozprawy tj. uzyskanie większej sprawności aerodynamicznej wirnika śmigłowca z modyfikacją skręcenia łopat podczas realizacji misji transportowej w porównaniu z wirnikiem o stałych łopatach. Co jest tezą Autora w niniejszej pracy.

Treść rozprawy w obszarze opisu oraz badań rozpatruje dwa przypadki zadania transportowego – zawis i lot poziomy.

Podsumowując wstęp do recenzji stwierdzam, iż temat podjęty przez Autora jest interesujący aplikacyjnie a jednym z efektów wykonanej pracy mogą być korzyści ekonomiczne zastosowania proponowanych rozwiązań w rozwijanych konstrukcjach statków powietrznych. Moim zdaniem jest to praca mająca cechy badawcze oparte na podbudowie naukowej z możliwością dalszego rozwoju oraz wdrożenia.

2. Opis treści rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska Pana mgr inż. Radosława RACZYŃSKIEGO liczy łącznie 250 stron i zawiera wykaz skrótów, spis symboli oraz oznaczeń. Ponadto w pracy umieszczono dwa załączniki w końcowej części zawierające analizę osiąarów wirnika nośnego w zawisie i locie poziomym. W pracy jest wymagane ustawowo streszczenie w języku angielskim. Rozprawa zawiera 8 rozdziałów, z czego pierwszy jest wstępem a ósmy weryfikacją tezy badawczej. Tekst i opisy przedstawiono na ok. 200 stronach, rysunki wykonano w ilości 164, a wyniki zamieszczono w 93 tabelach z czego większość to zestawienie obciążeń.

Bibliografia stanowi zbiór 103 pozycji literaturowych, polskich i zagranicznych w tym siedem publikacji z udziałem Autora rozprawy doktorskiej (pozycje [4,25,33,68,72,97,98]). Przytoczone w bibliografii pozycje są wymienione w tekście. Z uwagi na perspektywę praktycznego zastosowania wyników badań zamieszczonych w pracy oraz dużego prawdopodobieństwa kontynuowania prac naukowych Autor powołuje się na świeże pozycje bibliograficzne dotyczące tematu pracy. Dysertacja jest zakończona perspektywami (wg. Autora) dalszych prac rozwoju koncepcji SMA jako elementu wykonawczego morficznej zmiany kształtu łopaty.

1. Wstęp

We wstępie, który jest pierwszym rozdziałem Autor przybliży problem powstania siły nośnej na łopacie wirnika nośnego śmigłowca. Kolejne podrozdziały od 1.1 do 1.10 wprowadzają czytelnika w problematykę wiroplątów i ich głównego elementu generującego siłę nośną. Przytacza podstawowe, klasyczne równania teorii dysku

aktywnego a także modyfikacje. Pokazuje jedną z metod opisujących osiągi śmigłowca w różnych fazach lotu: zawis, lot poziomy, opadanie, autorotacja.

Podrozdział 1.1. dotyczy wprowadzenia w teorię wytwarzania siły nośnej i poprawy osiągnięć lotnych wiroplątów. Krótko (tabelarycznie) opisuje pierwsze konstrukcje lotne i wpływ na ich rozwój nowych silników oraz inżynierii materiałowej.

Autor zwraca także uwagę na istotny problem jakim jest wibracja i powstający hałas przy pracy wirującej łopaty.

Podrozdziały 1.2 – 1.10 dotyczą wytwarzania siły nośnej, teorii dysku aktywnego, metod modyfikacji i modelowania przepływu powietrza przez wirnik nośny śmigłowca. Autor wykorzystał powszechnie stosowaną metodę elementu łopaty jako sposób szybkiej oceny osiągnięć wirnika nośnego. Pokazał również efekt skręcenia geometrycznego (wykres 1.10). Przeprowadził analizę obliczeniową wg procedury VBM dla określenia współczynników siły ciągu i siły oporu wirnika. Zdefiniował także układ współrzędnych z zaczepieniem w centrum piasty. Przyjęcie szeregu uproszczeń pozwoliło wyprowadzić równania matematyczne niezbędne do wyznaczenia kątów, sił i prędkości na łopacie nośnej.

2. Podstawowe informacje o materiałach inteligentnych

Podrozdziały 2.1 – 2.10 . Autor załączył podstawowe informacje dotyczące mechaniki efektu pamięci kształtu. Na rysunku 2.1 pokazano schemat działania materiałów z pamięcią kształtu. W podrozdziałach wyjaśniono różnice jednokierunkowego i dwukierunkowego efektu pamięci kształtu. Na podstawie literatury dla grupy stopów SMA podał procentowe wartości odkształceń. W tabelach zestawiono właściwości powszechnie stosowanych stopów pamiętających kształt. Szczególne właściwości materiałów z pamięcią mają duże szanse w perspektywicznych konstrukcjach.

Ogólnie rozdział 2 dotyczy zastosowania materiałów inteligentnych do mechanizmów zmieniających geometrię łopaty wirnika nośnego. Autor zebrał przykłady dotychczasowych zastosowań siłowników z pamięcią kształtu do modyfikacji profilu i skręcenia. Treść rozdziału pozwala zapoznać się z właściwościami i charakterystykami różnych siłowników.

Autor wspominał także o całym kompleksie badań dotyczących .

Na zakończenie rozdziału drugiego Autor przytacza możliwości wykorzystania siłowników bazujących na zjawisku piezoelektrycznym.

3. CEL i ZAKRES PRACY – krótki rozdział – 3 strony.

W rozdziale trzecim Autor postawił cel i zakres prowadzenia badań numerycznych i eksperymentalnych. Wymienił elementy konstrukcji które poprawił z uwagi na właściwości w zawisie i locie poziomym.

Sformalizował tezę pracy która brzmi:

„Wirnik wyposażony w układ zmieniający geometryczny kąt skręcenia łopaty pozwala uzyskać większą sprawność aerodynamiczną podczas realizacji misji transportowej w porównaniu z wirnikiem o niezmienionym geometrycznym kącie skręcenia łopat”.

Przedstawił podział prac celem których ma być udowodnienie postawionej tezy a także zamieścił schemat blokowy wyjaśniający metodykę rozwiązania wg którego realizował badania numeryczne i eksperymentalne.

4. Założenia projektowe -

W tym rozdziale Autor skupia się na przedstawieniu założeń projektowych dla wirnika nośnego i łopat. W tabeli zestawiono podstawowe parametry konstrukcyjne wirnika nośnego takie jak: zakresy sterowania podłużnego i poprzecznego, skok ogólny, tłumienie wahań, moc nominalna i inne. Wirnik to trzyłopatowy, przegubowy, klasyczny wyposażony w aktywny układ sterowania skręceniem łopat. Autor przeanalizował dostępne materiały literaturowe a także w znacznym stopniu wykorzystał swoje doświadczenie zawodowe.

Podrozdziały 4.1 – 4.5 opisują kolejno:

- zespół wirnika nośnego;
- założenia konstrukcyjne do obliczeń;
- dobór parametrów siłownika sprężynowego z materiałów SMA;
- założenia projektowe wzmacniacza SMA;
- studium wykonalności wzmacniacza SMA.

Elementem eksperymentu w wykonanej pracy było sprawdzenie modelu elementu wykonawczego siłownika SMA na maszynie wytrzymałościowej w laboratorium.

Przeprowadzone symulacje pozwoliły Autorowi zweryfikować możliwość generowania momentu skręcającego oraz bilans energetyczny sekcji siłownika SMA.

5. Rozdział dotyczący definicji geometrii łopaty wirnika nośnego.

Do badań przyjęto kompozytową łopatę wirnika nośnego o profilu NACA 230XX z możliwością zmiany kształtu 018, 012 i 009. Założono promień wirnika jeden metr.

Podrozdziały 5.1 – 5.7 w kolejnych podrozdziałach Autor opisał podstawowe parametry:

- geometrii łopaty wirnika nośnego;
- dobór profilu i charakterystyki aerodynamiczne;
- rozkład mas łopaty wirnika nośnego;
- rozkład sztywności łopaty wirnika nośnego;
- podatność łopaty;
- analiza rezonansowa wirnika;
- zabudowa wzmacniacza SMA , częstość i postacię drgań własnych.

Opisane w podrozdziałach parametry wykazują dobrą znajomość Autora w całościowym spojrzeniu na zagadnienia konstrukcji wirnika nośnego.

Wyniki przeprowadzonych badań umieszczone zostały w tabelach i na wykresach.

6. Analiza osiągową izolowanego wirnika nośnego.

Rozdział dotyczy kolejnego etapu badań w którym Autor przeprowadza porównanie osiągową wirnika. W kolejnych paragrafach wykazano i potwierdzono słuszność przyjętej koncepcji zastosowania zmiennej geometrii skrzywienia łopaty. W celu rozszerzenia badań i uzyskania większej ilości wyników z eksperymentu wybrano i zastosowano liniowe skrzywienie łopaty o wartościach -5, 0, 10, 12 stopni mierzonych na promieniu 0,7 R.

Uwzględniono w badaniach symulacyjnych wpływ kadłuba przez współczynnik strat. W tabelach zdefiniowano konfigurację wirnika do obliczeń.

Podrozdziały 6.1 – 6.5 przedstawiono:

- analizę porównawczą osiągową w zawisie;

- wpływ skrócenia geometrycznego łopaty na osiągi wirnika;
- osiągi w locie postępowym;
- WALIDACJA modelu wirnika metodą Virtual Blade Model – VBM

Kolorowe wykresy!

7. Zintegrowana analiza wirnika nośnego.

Wykonano analizę porównawczą obciążeń wirnika nośnego ze zmienną konfiguracją. Wykorzystano firmowe oprogramowanie, które zwiększa wiarygodność uzyskanych rezultatów. W równaniach modelu wyprowadzono siły i momenty od oddziaływań aerodynamicznych.

Podrozdział 7.1 Analiza obciążeń wirnika nośnego.

Wykonano analizę dla:

- zawis bez wpływu ziemi;
- lot poziomy z V_{ne}
- lot poziomy z V_{TAS}

Oceniano: moment gnący, amplituda, moment skręcający, sterowanie, skok.

Wartości obliczeniowe zamieszczono na wykresach i w tabelach.

Podrozdział 7.2 Walidacja osiągow obciążeń wirnika z modelu MBD.

W podrozdziale zdefiniowano model podatności zamocowania, model z zaznaczoną strefą zabudowy siłownika, i pokazano schemat obciążeń dynamicznych.

Wyniki zamieszczono na wykresach.

8. Weryfikacja tezy badawczej.

Autor zwięźle podsumowuje przeprowadzone badania i stwierdza że postawiona teza jest wykazana. Uzyskane wyniki pokazują korzyści z zastosowania łopat z mechanizmami skrócenia geometrycznego.

Podrozdziały 8.1 – 8.7

- ocena wpływu zmiany kąta skrócenia na podstawowe właściwości aerodynamiczne łopaty;
- ocena wpływu zabudowy siłownika SMA na cechy masowo-sztywnościowe i obciążenia;

- ocena dynamiczna wirnika- częstości drgań własnych;
- ocena obciążeń układu sterowania;
- ocena celów badawczych;
- ocena pracy badawczej.

DALSZE PRACE

Przedstawiono wizję dalszych prac nad zagadnieniem geometrycznego, sterowalnego skręcenia łopat w wirniku nośnym śmigłowca.

3. Ocena wartości merytorycznej rozprawy doktorskiej

W mojej, subiektywnej ocenie podejmowanie badań wykorzystujących numeryczne metody symulacji jest w pełni uzasadnione i zaliczane jest do dobrej praktyki inżynierskiej.

Tak więc, wykonane badania w ramach realizacji ocenianej przeze mnie rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Radosława RACZYŃSKIEGO wpisują się w obecne trendy badawcze na poziomie koncepcji i wstępnych projektów nowych konstrukcji.

Z przedstawionej powyżej charakterystyki (opisu) poszczególnych rozdziałów pracy doktorskiej wynika, iż rozprawa cechuje się niezbędnymi elementami do przeprowadzenia kompleksowych, wiarygodnych badań symulacyjnych potwierdzających słuszność przyjętej koncepcji sterowania geometrycznym skręceniem łopat.

Treści ocenianej rozprawy są zgodne z jej tytułem, a układ pracy ze spisem treści i kolejnymi rozdziałami które dają obraz wiedzy w nich zawartej. Należy także zwrócić uwagę na dobrą znajomość Autora wykorzystywanych w pracy programów symulacyjnych.

Bibliografia zamieszczona w rozprawie jest dobrana odpowiednio do tematu i zakresu poruszanych problemów. Ilość przytoczonych publikacji (103) jest dostateczna i zawiera aktualne pozycje z ostatnich lat. Autor również powołuje się na prace starsze, a liczne cytowania innych autorów ze znanych ośrodków naukowo-badawczych zajmujących się problematyką poruszaną w rozprawie doktorskiej, świadczy to o dobrym poznaniu przez Autora problemów związanych z projektowaniem i badaniem łopat oraz wirnika nośnego śmigłowca ze sterowanym skręceniem geometrycznym (i nie tylko). Przytoczone w bibliografii własne prace i współautorstwo utwierdzają mnie w przekonaniu o profesjonalizmie Autora i

zaangażowaniu w obraną tematykę związaną z technologią projektowania, budowy i badań wiroplątów.

4. Uwagi krytyczne i pytania

Pozytywna ocena rozprawy doktorskiej w zakresie celu i przyjętych metod badawczych, przeprowadzonych symulacji, osiągniętych rezultatów oraz wysnutych wniosków, wynika z całościowej oceny pracy. Jednakże w recenzowanej rozprawie, moim zdaniem, Autor nie uniknął błędów stylistycznych np. (str. 17, 35, 39, 43,60 itd.) , językowych np. (str. 70,73, 85, 140 itd.), interpunkcyjnych i składniowych. W niektórych miejscach opisów Autor używa określeń potocznych. Są to jednak drobne niedoskonałości, których uniknięcie w tego typu opracowaniach jest trudne.

Uwagi ogólne:

- moim zdaniem cel i zakres pracy należało umieścić na początku rozprawy lub jako rozdział 2 a nie dopiero w trzecim rozdziale;
- niedostatecznie opisane słowniki na bazie materiałów piezoelektrycznych;
- w rozdziale 7 obszerna baza tabel – można było umieścić je w załączniku;

Uwagi szczegółowe i pytania:

1. Nieścisłości w „Wykazie symboli i skrótów” np. oznaczenia prędkości dźwięku- podwójne, symbole czasu i temperatury, prędkość i objętość, MES-FEM? ;
2. Mało czytelny rys. 1.8, pomyłka w numeracji rys.1.10 dwa razy, rys. 2.10 nieczytelny;
3. Rys. 1.12 – kierunek lotu? , rys 2.6 – odwrotnie atak-powrót , str 71 – brak podpisu pod schematem;
4. Rys. 2.16 brak jednostek na osi;
5. Rys. 4.2 pomyłka w oznaczeniach na wykresie ?;
6. Równanie 1.94 - ?
7. Rysunki 8.1 i 8.2 – przyjęta skala zaciemnia obraz;

5. Wnioski końcowe recenzowanej rozprawy doktorskiej

Recenzowana przeze mnie rozprawa doktorska Pana mgr inż. Radosława RACZYŃSKIEGO ze względu na opracowaną metodykę, rozwiązania i osiągnięcia założonego celu, moim zdaniem wpisuje się dobrze w aktualne trendy naukowo badawcze a także potrzeby rozwojowe wiroplątów i tym samym w ogólną tendencję rozwoju technologicznego. Uważam, iż praca ta może być dalej rozwijana i przeistoczyć się w produkt podnoszący osiągi lotne wiroplątów a także bezpieczeństwo i ekonomikę użytkowania.


Pozytywna ocena pracy w zakresach postawienia, sformułowania i opisu problemu badawczego, realizacji badań symulacyjnych oraz eksperymentalnych, ich poprawność oraz pozytywne wyniki całej pracy wskazują na zaangażowanie Autora w tematykę związaną z rozwojem technologii sterowania skręceniem geometrycznym łopat wirników nośnych śmigłowców.

Wkład doktoranta w realizację prac badawczych oraz poprawne powiązanie problemów symulacyjnych i eksperymentalnych pozwala stwierdzić, iż recenzowana przeze mnie rozprawa doktorska:

- zawiera praktyczne i sprawdzone przez Autora zagadnienia techniczne z obszaru badań funkcjonalnych i optymalizacji konstrukcji;
- wykazuje umiejętności i wiedzę doktoranta w posługiwaniu się nowoczesnymi metodami badawczymi i technologiami informatycznymi;
- jest własnym, dziełem doktoranta;
- przekonuje mnie, iż doktorant przygotowany jest do samodzielnego rozwiązywania problemów technicznych i naukowych zmierzających do realizacji nowych projektów, co mieści się w zakresie dyscypliny „Inżynieria mechaniczna” („Budowa i eksploatacja maszyn”).

Oznacza to, iż wdrożenie sposobów badań eksperymentalnych i numerycznych zaproponowanych przez doktoranta pozwoli na modernizację i poprawę bezpieczeństwa, niezawodności i ekonomii użytkowania wiroplątów w szerokim zakresie.

Podsumowując stwierdzam, że recenzowana przeze mnie rozprawa doktorska zatytułowana „**AERODYNAMIKA WIRNIKA NOŚNEGO ZE STEROWANYM SKRĘCENIEM GEOMETRYCZNYM**” spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w rozumieniu art. 13.1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, (Dz. U. nr 65 poz. 595 ze zm.: Dz. U. nr 164, 2005 r., poz. 1365 i Dz. U. nr 84, 2011 r., poz.455) i w związku z tym stawiam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Radosława RACZYŃSKIEGO do publicznej obrony recenzowanej rozprawy doktorskiej.



.....
Dr hab. inż. Krzysztof SZAFRAN

UWAGA:

Pozytywna ocena oraz dobra praca naukowo- badawcza doktoranta skłania mnie do postawienia wniosku do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna POLITECHNIKI LUBELSKIEJ, o wyróżnienie ww dysertacji.

